

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2003-077860

(43) Date of publication of application : 14.03.2003

---

(51) Int.CI. H01L 21/28

// C23C 14/14

---

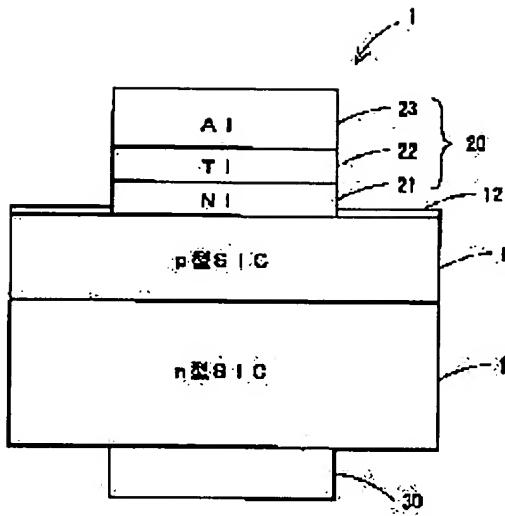
(21) Application number : 2001- (71) Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD  
270771

(22) Date of filing : 06.09.2001 (72) Inventor : NAKATSUKA OSAMU  
KONISHI RYOHEI  
YASUKOCHI RYUICHI  
KOIDE YASUO  
MURAKAMI MASANORI  
SHIBATA NAOKI

---

(54) ELECTRODE FOR p-TYPE SiC

(57) Abstract:



PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrode for p-type SiC which ensures proper surface morphology and gives less amount of damage on a semiconductor crystal layer during the formation of the electrode.

SOLUTION: The p-type electrode is formed with inclusion of a first electrode material composed of at least one kind of material selected from among nickel (Ni), cobalt (Co), palladium (Pd) and platinum (Pt).

---

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.12.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

を形成後、超高真空チャンバ内で800°Cから1000°Cで熱処理を施した。そして、円形TLM法、X線回折(XRD)法、ラザフォード後方散乱(RBS)法、光学顕微鏡観察により各試料の抵抗率、表面結晶性を評価した。

【0015】NiAlコンタクト材は、800°Cの熱処理後においてもオーム性が得られた。即ち、Niを電極材料の一つとして採用することにより、従来よりも低温の熱処理によってもオーム性が得られることが判明した。図1に1000°C、2分間熱処理後のコンタクト低効率( $\rho_c$ )のNiAl中のAl濃度依存性を示す。TiAlコンタクト材と比べて、少ないAl濃度(40at%以下)でも $10^{-1}\Omega\text{-cm}^2$ 台の $\rho_c$ が得られ、Al濃度80at%において $9\times 10^{-1}\Omega\text{-cm}^2$ が達成された。Al濃度が増すにつれてコンタクト抵抗率が減少しており、Alがコンタクト低抵抗率に重要な役割を果たすことが分った。また、1000°C熱処理後もTiAlと比べて、より平坦な表面が得られた。

【0016】[実験例2]p型4H-SiCに対するCoAlオーミック・コンタクト材に関して、熱処理温度と電極表面平坦性について検討を行った。基板には市販のp型4H-SiC(0001)エビュエハ(AI濃度 $1.0\times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$ )を用いた。基板を化学洗浄後、熱酸化膜を10nm製膜し、フォトリソグラフィー法により円形TLMパターンを描画した。希硫酸を用いて酸化膜を剥離後、Co及びAlの金属層を電子線蒸着法及び抵抗加熱法により堆積した。全膜厚を180nmとし、Co/Al/Cr構造で中間層の厚さの異なる複数の試料を作製した。リフトオフ工程によって電極パターンを形成後、超高真空チャンバ内で800°C、10分間から1000°C、2分間の熱処理を施した。そして、円形TLM法、X線回折(XRD)法、ラザフォード後方散乱(RBS)法、光学顕微鏡観察により各試料の抵抗率、表面結晶性を評価した。

【0017】図2に800°C、10分間熱処理後のCoAl/SiCコンタクトにおける電流-電圧(I-V)特性を示す。薄いAl中間層10nm及び40nmの試料において良好なオーミック性が確認された。更に1000°C、2分間の熱処理を加えることによって、コンタクト低効率は $4\times 10^{-1}\Omega\text{-cm}^2$ まで低減された。CoAlコンタクトにおいては1000°C熱処理後もTiAlコンタクトに比較して、非常に平坦な表面が得られた。Al層を含まないCoコンタクト材においては1000°C熱処理後もオーム性は得られず、Alがコンタクト抵抗低減に重要な役割を果たすことが分った。

【0018】[実験例3]p型4H-SiCに対するオーミック・コンタクト材において、Niを用いた場合の熱処理温度と電極表面平坦性について検討を行った。基板には市販のp型4H-SiC(0001)エビュエハ(AI濃度 $3.0\times 8.1\times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$ )を用いた。基板を化学洗浄後、熱酸化膜を10nm製膜し、フォトリソグラフィー法により円形TLMパターンを描画した。希硫酸を用いて酸化膜を剥離後、Ni、Tiの金属層を電子ビーム法により、Alの金属層を抵抗加熱法により堆積した。積層構造が、Ti/Al(SiC側から順にTi層、Al層を鉛層、以下同様)、Ni/Al、Ni/Ti/Alの各試料

を作製した。また、Ni/Ti/AlについてはNi層、Ti層の膜厚が異なる複数の試料を作製した。尚、蒸着中の真空度は $1\times 10^{-5}\text{Torr}$ を設定した。リフトオフ工程によって電極パターンを形成後、超高真空チャンバ内で800°C、5分間から30分間の熱処理を施した。そして、円形TLM法、X線回折(XRD)法、ラザフォード後方散乱(RBS)法、光学顕微鏡観察により各試料の抵抗率、表面結晶性を評価した。

【0019】図3に800°C、10分間熱処理後の各試料(Ti/Al、Ni/Al、Ni/Ti/Al)の電流-電圧(I-V)特性を示す。

10 ■：Ni(25nm)/Ti(50nm)/Al(300nm), 800°C, 10min. ▲：Ni(44nm)/Al(53nm)800°C, 10min. ●：Ti(50nm)/Al(300nm)800°C, 2minである。Ti/Alでは800°Cの熱処理によりオーミック性が得られていないのに対して、Ni層を形成した試料(Ni/Al、Ni/Ti/Al)ではオーミック性が得られていることが分る。即ち、Ni層を採用することにより、従来よりも低温の熱処理をもってオーミック・コンタクトを形成することが可能であることが確認された。また、熱処理後のNi/Al及びNi/Ti/Alの表面は非常に平坦であった。

20 【0020】図4に、Ni/Ti/Alの積層構造を有する試料において、Ni層及びTi層の膜厚とコンタクト抵抗率( $\rho_c$ )との関係を示す。△：Ni(8nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)、◇：Ni(15nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)、◆：Ni(25nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)（以上のAI濃度は $3.0\times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$ ）、●：Ni(8nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)、○：Ni(15nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)（以上のAI濃度は $8.1\times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$ ）である。基板のAI濃度の如何に拘わらず、Ni層を厚く形成することにより抵抗率が減少することがわかる。即ち、抵抗率がNi膜厚依存性を示すことが分る。尚、Ni(25nm)/Ti(50nm)/Al(300nm)の条件により、 $\rho_c=6.64\times 10^{-3}\Omega\text{-cm}^2$ を達成できている。

30 【0021】  
【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。図5は本発明の一実施例であるSiC素子1の構成を模式的に示した図である。SiC素子1は次のように作製することができる。まず、気相成長装置チャンバ内にn型SiC基板10を設置し、水素ガスをキャリアガスとして用い、原料ガスのモノシラン(SiH<sub>4</sub>)ガス及びプロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)を、不純物ガスのトリメチルアルミニウム((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Al)ガスをチャンバ内に供給し、約1400°Cの成長温度でp型SiC層11を約5μm形成する。尚、周知の分子線総合成長法(MBE法)、ハライド系気相成長法(HVPE法)、スパッタ法、イオンプレーティング法、電子シャワー法等の方法でp型SiC層11を形成することもできる。

40 【0022】次に、1150°C、60分、O<sub>2</sub>雰囲気で酸化酸化を行い、p型SiC層11表面にSiO<sub>2</sub>膜12を約10nm製膜する。フォトリソグラフィーにより電極バーニングを行った後、一部のSiO<sub>2</sub>膜を希硫酸で剥離する。続いて、Ni層21を電子ビーム法により約25μm形成する。同様にTi層22を電子ビーム法により、Al層23を抵抗加熱法

によりそれぞれ形成した後、リフトオフ工程により電極パターンを形成する。以上の工程により、図5に示す様に、Ni、Ti、Alが順に積層されたp電極20が作製される。

【0023】次に、p型SiC11とp電極20との間のオーム接点を形成するために、超真空チャンバー内で800°C、10分の熱処理を施す。続いて、n型SiC10の表面にnとAlからなるn型電極30を蒸着法により形成する。以上の工程の後、スクライバ等を用いてチップの分離工程を行い、SiC素子1を得る。

【0024】この発明は、上記発明の実施の形態の説明に何ら限定されるものではない。特許請求の範囲の記載を追跡せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形様もこの発明に含まれる。また、この発明がSiC上のIII族窒化物系化合物半導体等、SiCを用いた他の半導体素子に用いることができることは言うまでもない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は実験例1の結果を示すグラフであり、100°C、2分間熱処理後のコンタクト低効率( $\rho_c$ )のNiAl中のAl濃度依存性が示される。

【図2】図2は実験例2の結果を示すグラフであり、800°C、10分間熱処理後のCoAl/SiCコンタクトにおける電流-電圧(I-V)特性が示される。Al中間層なし(○)、Al 10nm(□)、40nm(◇)、120nm(△)である。

【図3】図3は実験例3の結果を示すグラフであり800°C、10分間熱処理後の各試料(Ni/AI、Ni/Ti/AI、Ni/Ti/AI)/AI(300nm)、800°C、10min、▲：Ni(44nm)/AI(53nm)、800°C、10min、●：Ti(50nm)/AI(300nm)、800°C、2min。

\* °C、10分間熱処理後の各試料(Ni/AI、Ni/Ti/AI、Ni/Ti/AI)/AI(300nm)、800°C、10min、▲：Ni(44nm)/AI(53nm)、800°C、10min、●：Ti(50nm)/AI(300nm)、800°C、2min。

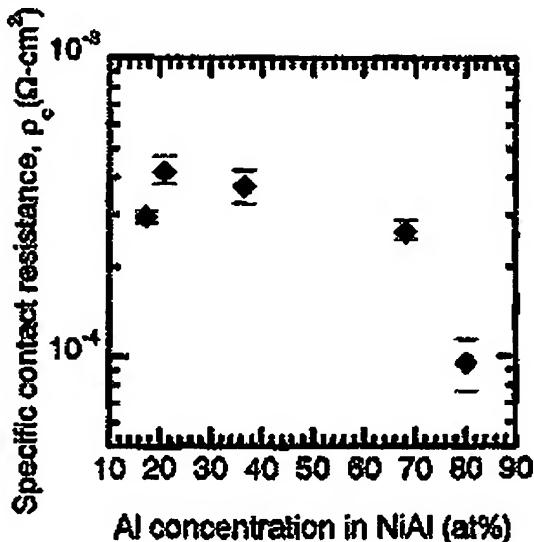
【図4】図4は実験例3の結果を示すグラフであり、Ni/Ti/AIの積層構造を備える試料において、Ni層及びTi層の膜厚の相違を変化させた場合のコンタクト抵抗率( $\rho_c$ )の変化が示される。△：Ni(8nm)/Ti(50nm)/AI(300nm)、◇：Ni(15nm)/Ti(50nm)/AI(300nm)、◆：Ni(25nm)/Ti(50nm)/AI(300nm)（以上のAI濃度は $3.0 \times 10^{-3}$ cm<sup>-3</sup>）、●：Ni(8nm)/Ti(50nm)/AI(300nm)、○：Ni(15nm)/Ti(50nm)/AI(300nm)（以上のAI濃度は $3.1 \times 10^{-3}$ cm<sup>-3</sup>）。

【図5】図5は本発明の一実施例のSiC素子1の構成を模式的に示した図である。

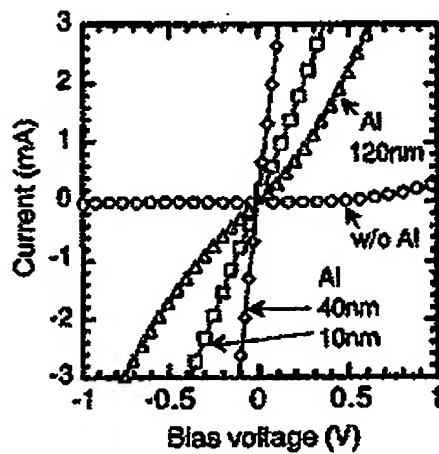
#### 【符号の説明】

- 1 SiC素子
- 1.0 n型SiC基板
- 1.1 p型SiC層
- 2.0 SiO<sub>2</sub>膜
- 2.1 Ni層
- 2.2 Ti層
- 2.3 Al層
- 3.0 n電極

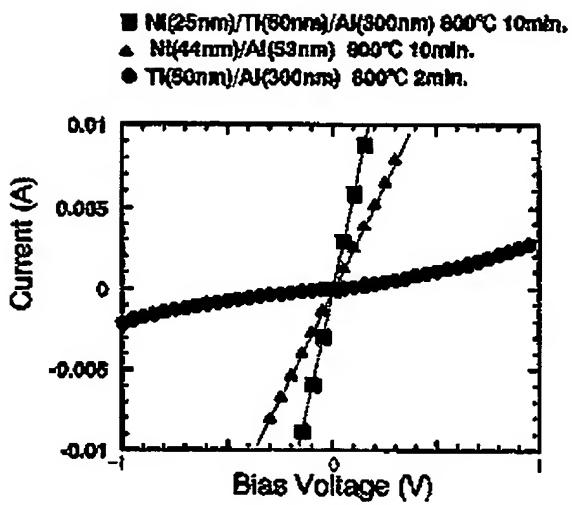
【図1】



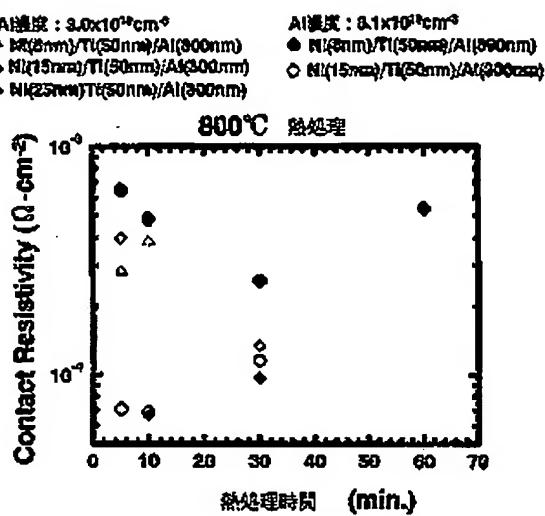
【図2】



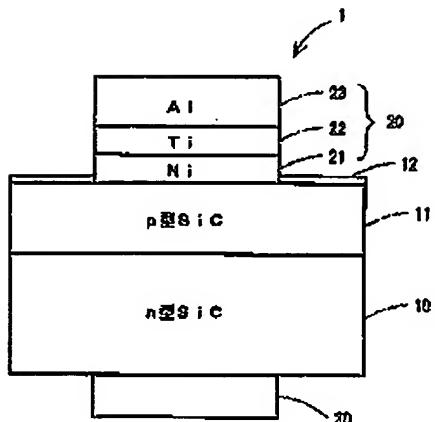
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 安河内 隆一  
 京都府京都市左京区松ヶ崎小竹蔽町26-1  
 新山荘307

(72)発明者 小出 康夫  
 京都府京都市伏見区池ノ内町官有地藤森台  
 同庁舎141

(72)発明者 村上 正紀  
 京都府京田辺市薪長尾谷22-32

(72)発明者 柴田 直樹  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畠1  
 岩地 岩田合成株式会社内

F ターム(参考) 4K029 AA04 BA02 BA06 BA12 BA13  
 BA23 BB02 BC03 BD02 GA01  
 4K104 AA03 BB02 BB04 BB05 BB06  
 BB07 BB13 BB14 CC01 DD09  
 DD16 DD22 DD34 DD35 DD37  
 DD58 DD78 DD83 FF22 GG18  
 GG20 HH12 HH15

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-77860

(P2003-77860A)

(43)公開日 平成15年3月14日 (2003.3.14)

(51)Int.Cl.  
H01L 21/28  
# C23C 14/14

識別記号  
301

F I  
H01L 21/28  
C23C 14/14

テ-マ-ト\*(参考)  
301F 4K029  
G 4M104

審査請求 未請求 詞求項の数14 OL (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2001-270771(P2001-270771)

(22)出願日 平成13年9月6日 (2001.9.6)

(71)出願人 000241463

豊田合成株式会社  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畠1

番地

(72)発明者 中塚 理  
愛知県名古屋市昭和区西側町24-2 西側  
マンション2B号

(72)発明者 小西 寛平  
京都府京都市左京区府野清水町167 ロイ  
ヤルゴーポタカノ213

(74)代理人 100095577  
弁理士 小西 寛平 (外2名)

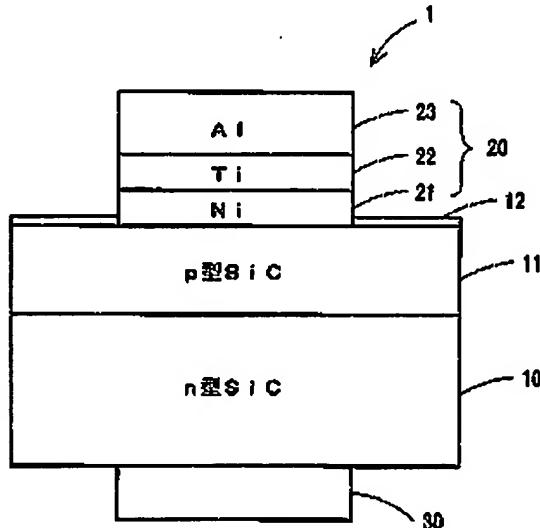
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 p型SiC用電極

(57)【要約】

【課題】 表面モロジーが良好で、電極の形成に伴う半導体結晶層への損傷が少ないp型SiC用電極を提供する。

【解決手段】 ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1の基盤材料を含有させてp型電極を構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1の電極材料を含んでなる、p型SiC用電極。

【請求項2】アルミニウム(Al)からなる第2の電極材料を更に含んでなる、請求項1に記載のp型SiC用電極。

【請求項3】チタン(Ti)からなる第3の電極材料を更に含んでなる、請求項2に記載のp型SiC用電極。

【請求項4】前記第1の電極材料がニッケル(Ni)又はコバルト(Co)である、請求項1～3のいずれかに記載のp型SiC用電極。

【請求項5】前記第1の電極材料からなる層がp型SiCに接して形成される、請求項1～4のいずれかに記載のp型SiC用電極。

【請求項6】p型SiC層から順に、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1層、アルミニウム(Al)からなる第2層が形成されてなるp型SiC用電極。

【請求項7】前記第1層と前記第2層との間にチタン(Ti)からなる第3層が形成されてなる、請求項6に記載のp型SiC用電極。

【請求項8】p型SiC上に請求項1～7のいずれかに記載のp型SiC用電極が形成されている、ことを特徴とするSiC素子。

【請求項9】p型SiCを洗浄するステップと、前記p型SiC上に、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1層を形成するステップと、加熱処理するステップと、を含むp型SiC用電極の製造方法。

【請求項10】p型SiCを洗浄するステップと、前記p型SiC上に、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1層を形成するステップと、アルミニウム(Al)からなる第2層を形成するステップと、加熱処理するステップと、を含むp型SiC用電極の製造方法。

【請求項11】チタン(Ti)からなる第3層を形成するステップ、を更に含む請求項10に記載のp型SiC用電極の製造方法。

【請求項12】p型SiCを洗浄し、前記p型SiC上に、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1層を形成し、チタン(Ti)からなる第3層を形成し、アルミニウム(Al)からなる第2層を形成し、加熱処理する、ことを特徴とする請求項11に記載のp型SiC用電極の製造方法。

【請求項13】前記加熱処理の温度が400℃～1100℃の範囲である、ことを特徴とする請求項9～請求項12のいずれかに記載のp型SiC用電極の製造方法。

【請求項14】請求項9～13のいずれかに記載のp型SiC用電極を製造するステップを含む、ことを特徴とするSiC素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はシリコンカーバイド(SiC)素子に関する。詳しくは、SiC素子に用いられる、p型SiC用電極に関する。

## 【0002】

【従来の技術】シリコンカーバイド(SiC)は、高周波電力デバイス、高温デバイス、オートエレクトロニクスデバイスへの適用が期待されており、実用化に向けた研究が進められている。SiC素子用のp型電極、即ちp型SiCに対するオーム接極としては、チタン(Ti)とアルミニウム(Al)を用いたもの(Ti/Al)が一般的である(特開平5-13812号参照)。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】一般に、素子ではオーム接極を必要とする場合が多い。ところが、化合物半導体を用いた素子では、一般的に熱処理を経ることなく半導体材料層と電極との間のオーム接合が得られず、即ち、單に金属層を形成した場合にはショットキを帯びることとなる。また、熱処理によるオーム接合においては半導体材料、電極材料、熱処理温度、熱処理時間などにより、得られるコンタクト抵抗は大きく異なる。現在、p型SiCに対する低抵抗オーム接合として期待されるTi/Alはかなりの低抵抗化が実現できているものの、低抵抗化のためには大量のAlに加えて高い熱処理温度で長時間を必要とし、表面モロジーの悪化、半導体結晶層への熱的損傷による素子機能、素子寿命の低下などの問題が指摘されていた。本発明は以上の課題を解決すべくされたものであり、表面モロジーが良好で、電極の形成に伴う半導体結晶層への熱的損傷が少ないp型SiC用電極を提供することを目的とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明者らは上記目的を達成すべく鋭意検討を重ねたところ、以下の発明を見出すべく至った。ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、パラジウム(Pd)、及びプラチナ(Pt)の中から選択される少なくとも一種からなる第1の電極材料を含んでなる、p型SiC用電極である。

【0005】以上の構成のp型SiC電極によれば、従来よりも低温の熱処理工程によりオーム性を得ることができ、電極表面の平坦性が向上する。また、広い熱処理範囲でオーム性を得ることができ、高温においても短時間で達成することができる。その結果、電極形成に伴う半

導体結晶層への熱的影響を小さくできる。したがって、本発明のp型SiC用電極を用いれば、素子特性の優れたSiC素子を作製することが可能となる。

【0006】本発明においてp型SiC用電極とは、p型のSiC半導体層上に形成される電極をいう。本発明のp型SiC用電極が適用されるp型SiC半導体の型は特に限定されず、後述の実施例で使用されるn型の他、6R型、15R型、21R型、3C型等を含む。また、本発明のp型SiC用電極が適用される素子の種類も特に限定されず、高周波電力デバイス、高温デバイス、オプトエレクトロニクスデバイス等に使用される各種素子に適用可能である。

【0007】第1の電極材料としては、比較的低温でSiと反応する観点からニッケル、又はコバルトを用いることが特に好ましい。

【0008】本発明のp型SiC用電極は、第1の電極材料に加えて、アルミニウム(A1)からなる第2の電極材料を更に含んでいることが好ましい。アルミニウムを含有させることによりコンタクト抵抗率の減少が図られ、オーミック性のより良好なp型SiC用電極を構成できる。

【0009】本発明のp型SiC用電極は、チタン(Ti)からなる第3の電極材料を更に含んでいることが好ましい。即ち、ニッケル等の第1の電極材料、アルミニウムからなる第2の電極材料、チタンからなる第3の電極材料を含有して構成することが好ましい。このようにチタンからなる第3の電極材料を含有させれば、さらなるコンタクト抵抗率の減少が図られる。

【0010】本発明のp型SiC用電極は、第1の電極材料からなる層(以下、「第1電極材料層」という)を備えていることが好ましく、当該第1電極材料層がp型SiC半導体層に接して形成されることがさらに好ましい。例えば、p型SiC半導体層上に第1の電極材料からなる層を形成し、続いて他の電極材料からなる層を積層し、これらを熱処理することにより本発明のp型SiC用電極を形成することができる。

【0011】本発明のp型SiC用電極が、第1の電極材料に加えて第2の電極材料を含有している態様では、第1電極材料層と第2電極材料層からなる層(以下、「第2電極材料層」という)を備えていることが好ましい。換言すれば、製造工程において、第1の電極材料層と第2の電極材料層が形成されることが好ましい。第1電極材料層と第2電極材料層の積層順序は特に限定されないが、p型SiC半導体層側から順に第1電極材料層、第2電極材料層が積層して形成されることが好ましい。また、上記の場合と同様に、第1電極材料層がp型SiC半導体層に接して形成されていることが好ましい。第1電極材料層と第2電極材料層との間に他の材料からなる層を介在させることもできる。また、第1電極材料層及び/又は第2電極材料層を複数設けることもでき、例えば、p型SiC半導体層側から順に、第1電極材料層/第2電極材料層/第1電極材料層を積層させて本発明のp型SiC用電極

を構成してもよい。

【0012】本発明のp型SiC用電極が、第1の電極材料、第2の電極材料、及び第3の電極材料を含有している態様では、第1電極材料層、第2電極材料層、及び第3の電極材料からなる層(以下、「第3電極材料層」という)を備えていることが好ましい。換言すれば、製造工程において、第1の電極材料層、第2の電極材料層、及び第3電極材料層が形成されることが好ましい。これらの各層の積層順序は特に限定されないが、p型SiC半導体側から順に第1電極材料層、第3電極材料層、及び第2電極材料層が積層して形成されることが好ましい。また、上記の場合と同様に、第1電極材料層がp型SiC半導体層に接して形成されていることが好ましい。第1電極材料層と第3電極材料層との間、及び/又は第3電極層と第2電極層との間に他の材料からなる層を介在させることもできる。また、第1電極材料層、第3電極材料層、及び/又は第2電極材料層を複数設けることもできる。

【0013】第1電極層、第2電極層、及び第3電極層の形成方法は特に限定されず、MBE法、真空蒸着法、スパッタリング法、抵抗加熱法等を採用することができる。本発明のp型SiC用電極は、上記の電極材料層(及びその他の層)をp型SiC半導体層上に積層した後、加熱処理することにより形成される。電極材料層の形成に先立って、p型SiC半導体を洗浄(例えば化学洗浄)しておくことが好ましい。電極材料層を良好な状態で積層するためである。p型加熱処理は、p型SiC半導体層と本発明のp型SiC用電極との間にオーミック・コンタクトを形成するために行われる。加熱温度、加熱時間は、良好なオーミック・コンタクトが形成されるように適宜調整される。加熱温度は、例えば400°C~1100°Cであり、好適には600°C~900°Cであり、更に好適には700°C~850°Cであり、最も好適には約800°Cである。一方、加熱時間は、例えば2分~100分であり、好適には2分~5分であり、更に好適には5分~30分である。尚、加熱は真空状態で行うことが好ましい。不活性ガス雰囲気で加熱処理を行うこともできる。不活性ガスには窒素ガス、ヘリウムガス、アルゴンガス等を用いることができる。

【0014】

【実験例】以下、本発明の実験例を示す。

【実験例1】本実験例では、p型4H-SiCに対するNiAl系オーミック・コンタクト材の電気特性及び表面平坦性について検討を行った。基板には市販のp型4H-SiC(0001)エピワエハ(A1濃度6.4~9.0×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>)を用いた。基板を化学洗浄後、熱酸化膜を10nm形成し、フォトリソグラフィー法により円形TLMパターンを作成した。希釈酸を用いて酸化膜を除去後、N<sub>2</sub>及びA1を電子ビーム法及び抵抗加熱法により堆積し、それぞれの膜厚を変えてコンタクト材を作製した。リフトオフ工程により電極パターン